

ČASOVÉ RADY PERMANENTNÝCH STANÍC SKPOS® (2007-2013)

SKPOS® PERMANENT STATIONS TIME SERIES (2007-2013)

Branislav Droščák¹

Abstract

Time series created from the GNSS permanent station coordinates allow us to see or understand the behaviour of the station and in cases when the station antenna is strongly connected with the ground, it allow us to achieve the knowledge about the region geokinematics as well. Furthermore, if we take into account that some SKPOS® permanent stations were built with the aim to serve to geokinematics research, we can use today their over 6 year long time series for better estimation of this phenomenon. Article below describes the new information achieved from the SKPOS® station coordinate time series analysis and focuses on sources which this analysis complicates as well.

Kľúčové slová

SKPOS, časové rady, permanentné stanice, geokinematika.

1 ÚVOD

Časové rady vytvorené zo súradníc staníc globálnych navigačných družicových systémov (ďalej GNSS) získaných spracovaním ich permanentných observácií, poskytujú skutočný a veľakrát zaujímavý náhľad na chod resp. správanie sa stanice a v prípade pevného spojenia antén s podložím aj cenné informácie o geokinematike regiónu, v ktorom sa nachádzajú. Keď vezmeme do úvahy, že niektoré permanentné stanice Slovenskej priestorovej observačnej služby (ďalej SKPOS®) boli budované práve s cieľom podpory sledovania geokinematiky Slovenska (stanice s anténami osadenými na pilieroch), tak z časových radov dnes dlhých už viac ako 6 rokov by sme mali dokázať takéto informácie oveľa spoľahlivejšie zistiť. Predkladaný článok sa práve preto, okrem opisu metodiky spracovania viac rokov dlhých časových radov staníc SKPOS®, venuje novým zisteniam získaným pri ich spracovaní a opisuje skutočnosti, ktoré vykonaný odhad čiastočne komplikujú.

2 ANALÝZA ČASOVÝCH RADOV STANÍC SKPOS® DO ROKU 2013

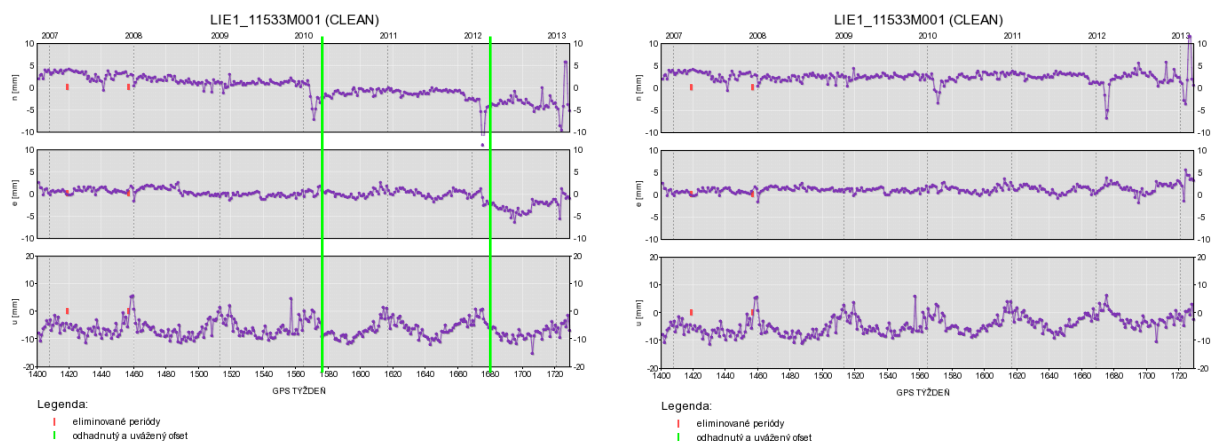
Téma rozborov alebo analýz časových radov permanentných staníc SKPOS® nie je pre Geodetický a kartografický ústav Bratislava (ďalej GKÚ), t.j. správcu služby SKPOS®, nová. Prvé články so zhodnotením správania sa staníc SKPOS® získane analýzou ich časových radov boli publikované už v rokoch 2008 a 2010, pozri napr. (Droščák, 2008), (Ferianc et al., 2010), (Droščák, 2010a), alebo (Droščák, 2010b). Závery a výsledky všetkých týchto prác spoločne konštatovali, že umiestnenia a stabilizácie staníc SKPOS® sú zvolené správne

¹ Ing. Branislav Droščák, PhD., Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, tel. +421 2 2081 6239, branislav.droscak@skgeodesy.sk.

riešenia boli následne kombinované do týždňových, ktoré boli ukladané v tvare SINEX. Údaje súborov SINEX boli následne použité na vykreslenie časových radov topocentrických súradníc označených ako „Raw - surové“ (viac v kapitole 3.3), ale zároveň vstúpili aj do podrobnejšieho spracovania softvérom MathCAD, kde boli analyzované a podrobené odhadu a eliminácii skokov, trendu a amplitúd sezónnych zložiek. Na odhad a elimináciu jednotlivých zložiek sa používala metodika, ktorá bola vyvinutá v rámci riešenia dizertačnej práce Ing. Droščáka (Droščák, 2010c). V uvedenej práci sa nachádza podrobný opis jednotlivých krokov celej metodiky, preto sa jej detailom nebudeme ďalej venovať.

3.2 Odhad skokov, trendu a amplitúd sezónnej zložky

Ako bolo odporúčané prácou (Droščák, 2010c), odhad skokov na ľubovoľnej zo súradnicových zložiek časových radov staníc SKPOS[®] bol uskutočnený iba v okamihoch, kedy došlo k výmene antény, alebo fyzickej manipulácii s ňou. Napriek eliminácii skokov v týchto okamihoch, bolo možné na niektorých staniaciach sledovať neznámy skokový charakter správania sa aj v iných časoch, vid'. napr. obr.2 (pozn. okamihy takýchto skokov sú vyznačené v ľavom obrázku zvislými čiarami), preto bolo rozhodnuté aj v takýchto prípadoch skoky odhadnúť a eliminovať ich. Na odhad všetkých skokov bola použitá metóda lineárnej regresie, pričom sa uvažovalo, že smernica priamky („rýchlosť stanice“) je vo všetkých obdobiach rovnaká (Droščák, 2010c). V tab.1 ďalej sú uvedené všetky okamihy, v ktorých došlo k odhadu skoku v časových radoch aj s uvedením známej či neznámej príčiny.



Obr. 2 Eliminácia skokov neznámeho dôvodu na stanici LIE1.

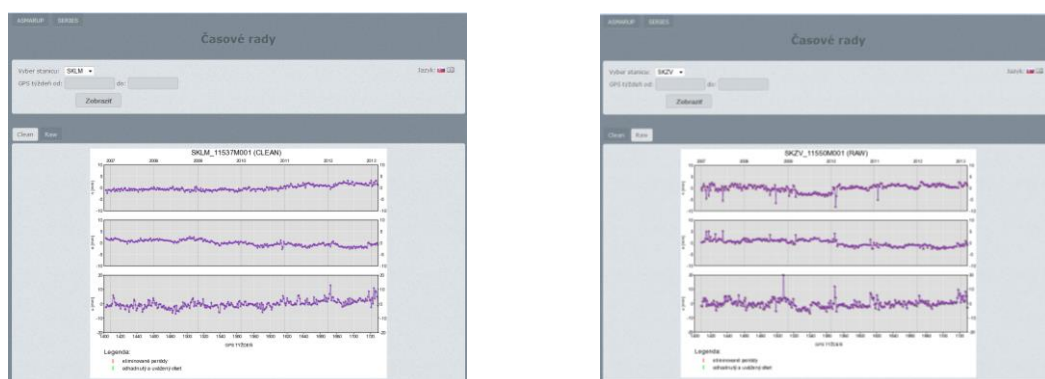
Po eliminácii skokov sa prešlo k vykresleniu časových radov rezíduí označených už ako „Clean - vyčistené“ (vid'. kapitolu 3.3) a k odhadu parametrov trendu a sezónnych (ročných) variácií. Metodika odhadu parametrov týchto zložiek bola taktiež totožná s metodikou použitou a publikovanou v práci (Droščák, 2010c). V prípade odhadu parametrov trendu, predstavujúceho z geokinematického hľadiska vnútroplatňové rýchlosti, išlo o použitie lineárnej regresie a v prípade odhadu amplitúd sezónnej zložky o použitie harmonickej analýzy. Na upresnenie dodávame, že odhadnuté hodnoty trendu (vnútroplatňových rýchlostí) sú vyjadrené voči rýchlostnému modelu Eurázijskej tektonickej platne ITRF2005 definovanému rýchlosťami rotácie uvedenými v dokumente MEMO (Boucher a Altamimi, 2011). Odhadnuté vnútroplatňové rýchlosti a amplitúdy ročných variácií sezónnej zložky so strednými chybami sa nachádzajú v tabuľke 2. Zvýraznením sú označené všetky hodnoty, ktoré sú pre ten-ktorý parameter dominantné, resp. významnejšie prekračujú očakávaný štandard. Tieto hodnoty sú následne v podkapitolách 3.4 použité pri opisovaní niektorých význačných charakteristík staníc.

Tab. 1 Skoky odhadnuté v jednotlivých zložkách časových radov staníc SKPOS®

| Stanica / číslo skoku | Príčina skoku | Dátum (GPS týždeň) | Zložka | Veľkosť skoku (mm) | Stredná chyba (mm) |
|-----------------------|---------------|-----------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| PRES | výmena antény | 1488 | n | 3,2 | 0,08 |
| | | | e | -2,7 | 0,12 |
| | | | u | -1,5 | 0,32 |
| SKGA / 1 | výmena antény | 1486 | n | 6,3 | 0,21 |
| | | | e | -0,9 | 0,21 |
| | | | u | -0,5 | 0,76 |
| SKGA / 2 | výmena antény | 1542 | n | 2,4 | 0,21 |
| | | | e | 1,4 | 0,21 |
| | | | u | -3,8 | 0,76 |
| SKNZ | výmena antény | 1488 | n | 3,3 | 0,21 |
| | | | e | -2,0 | 0,09 |
| | | | u | 3,5 | 0,30 |
| SKSE | výmena antény | 1486 | n | 5,4 | 0,10 |
| | | | e | -3,7 | 0,14 |
| | | | u | 3,1 | 0,31 |
| SKSV | výmena antény | 1488 | n | 0,0 | 0,14 |
| | | | e | 0,8 | 0,15 |
| | | | u | -1,4 | 0,39 |
| BBYS / 1 | neznáma | 1672 | n | 2,6 | 0,16 |
| | | | e | 3,6 | 0,12 |
| | | | u | 1,2 | 0,38 |
| BBYS / 2 | výmena antény | 1706 | n | 0,8 | 0,16 |
| | | | e | 0,9 | 0,12 |
| | | | u | -23,2 | 0,38 |
| KUKA / 1 | neznáma | 1552 | n | 1,0 | 0,24 |
| | | | e | 0,5 | 0,16 |
| | | | u | 4,2 | 0,47 |
| KUKA / 2 | neznáma | 1684 | n | 0,4 | 0,24 |
| | | | e | 1,9 | 0,16 |
| | | | u | 7,2 | 0,47 |
| LIE1 / 1 | výmena antény | 1488 | n | 1,3 | 0,48 |
| | | | e | 0,7 | 0,26 |
| | | | u | -5,3 | 1,01 |
| LIE1 / 2 | neznáma | 1570 | n | 3,6 | 0,48 |
| | | | e | 0,6 | 0,26 |
| | | | u | -3,9 | 1,01 |
| LIE1 / 3 | neznáma | 1675 | n | 6,0 | 0,48 |
| | | | e | 4,2 | 0,26 |
| | | | u | -1,3 | 1,01 |
| LIE1 / 4 | výmena antény | 1706 | n | 6,1 | 0,48 |
| | | | e | 4,8 | 0,26 |
| | | | u | -22,3 | 1,01 |
| PEMB / 1 | výmena antény | 1488 | n | 0,5 | 0,19 |
| | | | e | 1,2 | 0,28 |
| | | | u | 5,8 | 0,52 |
| PEMB / 2 | výmena antény | 1706 | n | 3,8 | 0,19 |
| | | | e | 3,4 | 0,28 |
| | | | u | 7,8 | 0,52 |
| SKRS | neznáma | 1586 | n | 2,0 | 0,14 |
| | | | e | -4,7 | 0,17 |
| | | | u | 1,3 | 0,54 |

3.3 Vykreslenie časových radov

Na vykreslenie časových radov rezíduí bolo využité prostredie vytvorené v rámci vyvíjanej aplikácie ASMARUP (Droščák a Smolík, 2013), ktoré bolo rozšírené o záložku na načítanie a zobrazovanie časových radov z formátu SINEX vytvorených Bernským softvérom (časové rady označené RAW), alebo z výstupov zo spracovania softvérom MathCAD (časové rady označené CLEAN). Na obr.3 sa nachádza ukážka grafického rozhrania záložky aplikácie ASMARUP upravenej na vykresľovanie časových radov rezíduí.



Obr. 3 Grafické rozhranie na vykresľovanie časových radov.

Tab. 2 Vnútroplatňové rýchlosti a amplitúdy sezónnych variácií staníc SKPOS[®]

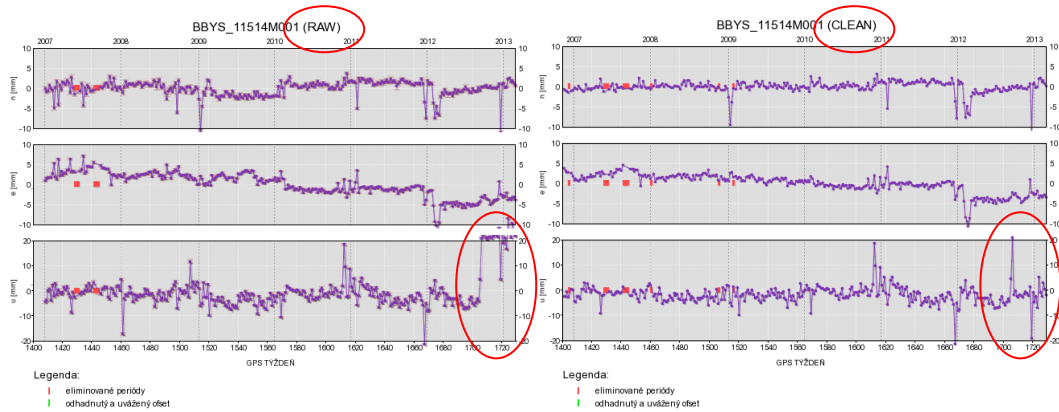
| Stanica | v^n | v^e | v^u | σ_v^n | σ_v^e | σ_v^u | A_n | A_e | A_u | σ_{A_n} | σ_{A_e} | σ_{A_u} |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| | $\left[\frac{mm}{rok}\right]$ | $\left[\frac{mm}{rok}\right]$ | $\left[\frac{mm}{rok}\right]$ | $\left[\frac{mm}{rok}\right]$ | $\left[\frac{mm}{rok}\right]$ | $\left[\frac{mm}{rok}\right]$ | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| BBYS | 0,0 | -1,0 | -0,1 | 0,9 | 0,8 | 1,9 | 0,4 | 0,4 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| BREZ | 0,8 | 0,0 | 1,9 | 2,2 | | 9,6 | 0,8 | 0,5 | 6,0 | 0,3 | 0,2 | 1,0 |
| GANP | -0,4 | -1,5 | -0,1 | 0,6 | 0,6 | 1,7 | 0,9 | 0,9 | 3,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| GKU4 | -0,2 | 0,3 | 1,1 | 0,6 | 0,7 | 1,6 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| JABO | 0,7 | -0,7 | -0,5 | 0,8 | 1,3 | 2,2 | 0,3 | 1,0 | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| KUKE | 0,0 | -0,6 | -2,0 | 0,7 | 0,5 | 1,4 | 1,4 | 0,5 | 1,3 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| KUZA | 0,7 | -1,4 | 1,6 | 0,6 | 0,9 | 1,7 | 1,1 | 1,4 | 0,6 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| LIE1 | -1,2 | -0,5 | -0,1 | 0,9 | 0,6 | 1,7 | 0,4 | 0,4 | 3,0 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| MOP2 | 0,7 | 0,0 | 0,4 | 0,7 | 0,8 | 3,7 | 0,5 | 0,1 | 1,3 | 0,1 | 0,1 | 0,6 |
| PEMB | -1,4 | -1,5 | -0,3 | 0,6 | 0,7 | 1,2 | 0,4 | 1,1 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| PRES | 0,4 | -0,7 | 1,2 | 0,3 | 0,5 | 1,3 | 0,2 | 0,8 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| SKGA | 0,8 | 0,5 | -0,1 | 0,5 | 0,4 | 1,6 | 0,5 | 0,2 | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| SKLM | 0,5 | -0,5 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 1,3 | 0,2 | 0,6 | 1,4 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| SKLV | 0,3 | -0,3 | -0,7 | 0,5 | 0,5 | 1,6 | 0,3 | 0,9 | 2,3 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| SKMT | 0,9 | -0,3 | -0,4 | 0,8 | 0,8 | 3,0 | 0,4 | 0,5 | 2,0 | 0,1 | 0,1 | 0,4 |
| SKNZ | 1,2 | -0,4 | -0,4 | 0,8 | 0,4 | 1,2 | 1,9 | 0,6 | 1,4 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| SKRS | 0,4 | -0,5 | -0,2 | 0,6 | 0,9 | 1,8 | 0,6 | 0,9 | 2,4 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| SKRV | 0,1 | -0,3 | -0,1 | 0,7 | 0,4 | 1,8 | 0,4 | 0,5 | 1,9 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| SKSE | 0,8 | -0,6 | 0,9 | 0,4 | 0,6 | 1,3 | 0,5 | 1,0 | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| SKSK | 0,9 | 0,1 | 0,4 | 1,5 | 0,9 | 1,4 | 3,2 | 1,7 | 1,3 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |
| SKSL | 1,1 | -0,8 | 1,3 | 1,1 | 0,4 | 1,7 | 2,3 | 0,3 | 0,9 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| SKSV | 0,5 | -0,7 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 1,6 | 0,8 | 1,2 | 1,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| SKTN | 1,0 | -0,2 | -0,7 | 1,0 | 0,7 | 2,1 | 0,4 | 0,7 | 1,5 | 0,2 | 0,1 | 0,4 |
| SKTV | -0,3 | -0,3 | -0,6 | 0,5 | 0,6 | 2,0 | 0,1 | 0,2 | 0,9 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| SKVK | -0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 2,1 | 0,6 | 0,3 | 2,3 | 0,1 | 0,2 | 0,4 |
| SKVT | 0,6 | -0,2 | -0,2 | 1,0 | 0,9 | 4,6 | 0,6 | 0,7 | 4,3 | 0,1 | 0,1 | 0,4 |
| SKZV | 0,2 | -0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,4 | 1,2 | 0,2 | 0,5 | 0,9 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| TREB | 0,8 | -0,1 | -1,4 | 1,2 | 0,8 | 3,6 | 1,0 | 0,5 | 0,8 | 0,1 | 0,1 | 0,4 |

3.4 Skúsenosti, resp. zistenia z analýzy časových radov rezíduí

Pri analýze časových radov rezíduí spracovaných staníc SKPOS[®] boli odhalené viaceré zaujímavé poznatky, z ktorých niektoré vybrané sú opísané v kapitolách nižšie.

3.4.1 Skoky v časových radoch v dôsledku výmeny antén

Už v roku 2008 boli odhalené skoky v časových radoch staníc, ku ktorým došlo v dôsledku demontáže ich antén kvôli kalibrácii (skoky v dátumoch 1486 a 1488 v tab.1) (Droščák, 2010b). K ďalšej manipulácii s niektorými anténami staníc SKPOS[®] došlo v roku 2012, kedy boli na vybraných stanicích vymenené pôvodné antény (Zephyr geodetic model 2) za antény vhodnejšie na skúmanie geokinematiky (typ Choke Ring). Konkrétne išlo o antény na stanicích LIE1, PEMB a BBYS. Tento zásah sa taktiež prejavil vo forme niekoľko milimetrových skokov najmä vo výškovej zložke (viď. tab.1 pre uvedené stanice a obr.4).



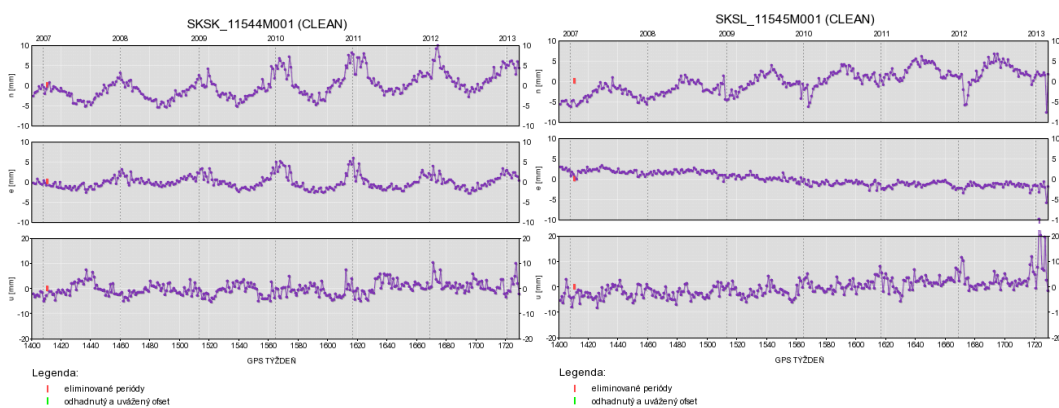
Obr. 4 Ukážka skoku na stanici BBYS v dôsledku výmeny antény v roku 2012.

3.4.2 Neznáme skoky v časových radoch

Pri podrobnejšom optickom analyzovaní časových radov sa na niektorých stanicích zdá, akoby došlo v určitých okamihoch ku skokom v niektorej z ich súradnicových zložiek (viď. napr. obr. 2). V záujme preskúmania týchto podozrení, bolo rozhodnuté tieto skoky odhadnúť a určiť okamihy, kedy k nim došlo. Zistené okamihy sú zapísané do tabuľky 1 a došlo k preskúmaniu denníkov staníc s cieľom odhaliť predpokladanú príčinu. Výsledok bol vo všetkých prípadoch negatívny, a tak ostáva otázka reálnosti skokov otvorená.

3.4.3 Stanice s dominantnou sezónnou variáciou alebo trendom

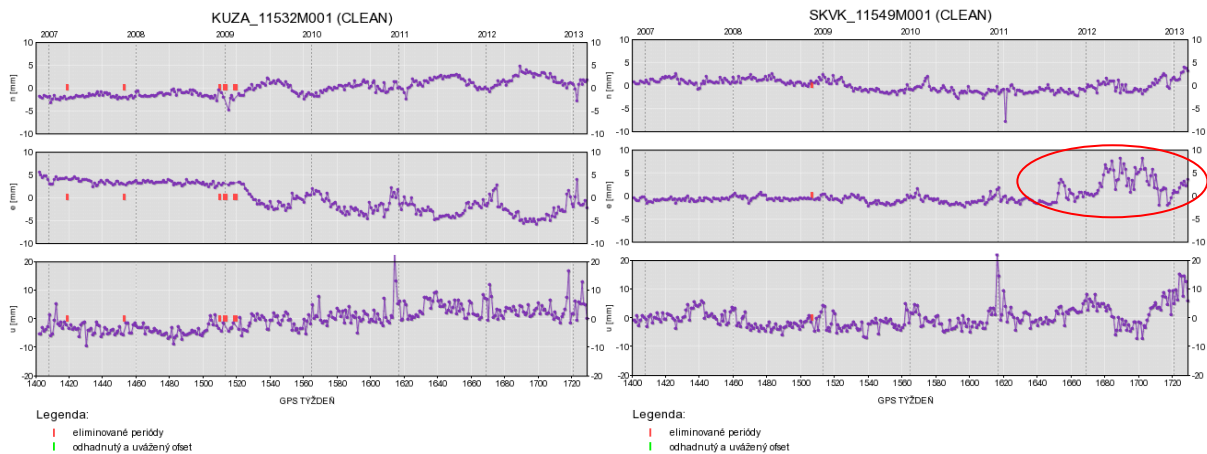
Zvýraznené hodnoty z tab.2 naznačujú, že viaceré stanice SKPOS[®] majú významnejšiu hodnotu sezónnej (ročnej) variácie alebo trend. V prípade sezónnej variácie predpokladáme, že ide o pohyb nosného systému antény (budovy, držiaka), pri trende môže ísť o geokinematický pohyb regiónu. Príklady vybraných staníc s takýmto pohybom sú na obr.5.



Obr. 5 Príklad stanice s významnou sezónnou variáciou (naľavo) a trendom (napravo).

3.4.4 Anomálne správanie sa niektorých staníc

Podrobnejšou analýzou časových radov bolo odhalené aj anomálne správanie sa niektorých staníc. Napríklad na stanici KUZA sa od roku 2009 začala významne prejavovať sezónna variácia, ktorá nebola dovtedy vôbec zreteľná (obr.6 naľavo). Príčina tejto zmeny nie je dodnes známa. Iná anomália sa začala prejavovať na stanici SKVK vo východo-západnej zložke (obr.6). Tento prípad bol a ešte stále je analyzovaný, pričom sa hľadá príčina, resp. riešenie, napríklad vo forme výmeny prijímača. Podobný prípad bol odhalený ešte aj na stanici SKTN. Na ostatných stanicích SKPOS[®] nebolo zaznamenané anomálne správanie.



Obr. 6 Anomálne správanie sa stanice KUZA (vľavo) a SKVK (vpravo).

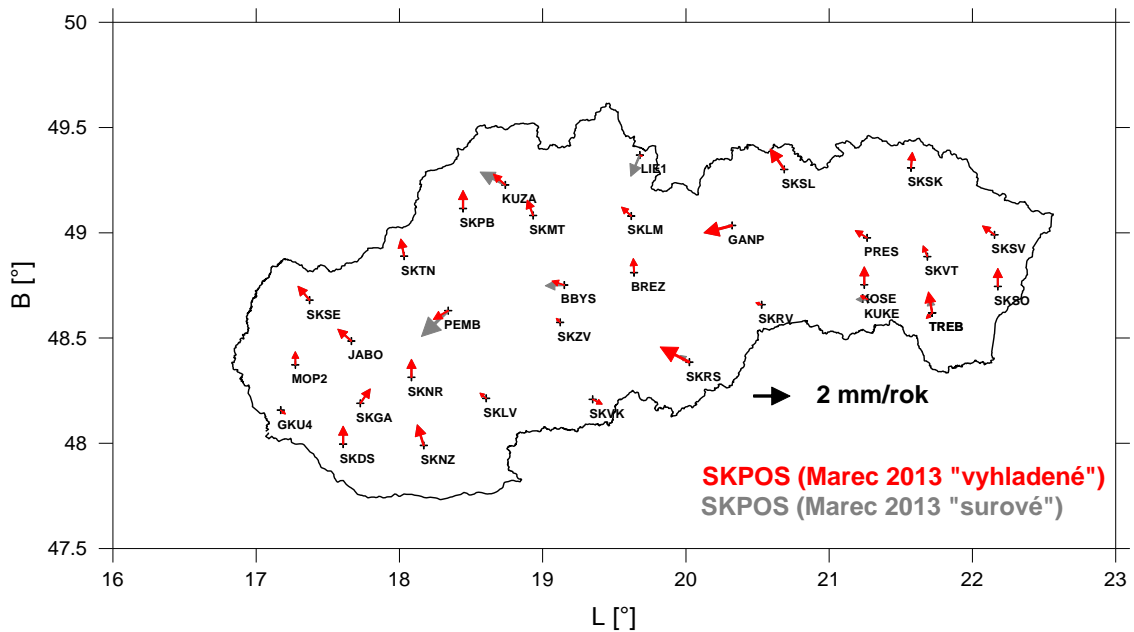
3.4.5 Stanice so stabilným správaním sa

Poslednú a najväčšiu skupinu permanentných staníc SKPOS[®] predstavujú stanice so stabilným správaním sa, t.j. bez príznakov akýchkoľvek anomálií, alebo so stabilným (max. milimetrovým) priebehom sezónnej variácie. Sem patria najmä SKZV, SKLM, SKMT, TREB, JABO, SKSE, SKSV, atď. Ukážka niektorých je zobrazená na obr.3.

4 GEOKINEMATIKA SLOVENSKA Z POHLADU ČASOVÝCH RADOV STANÍC SKPOS[®] V ROKU 2013

Na základe odhadnutých hodnôt vnútroplatňových rýchlostí staníc SKPOS[®] (tab.2), je možné vykresliť vektorové pole charakterizujúce geokinematiku Slovenska (obr.7). Samozrejme základným predpokladom je, že odhadnuté rýchlosti staníc reprezentujú pohyby jednotlivých častí zemského povrchu, čo nie vždy musí byť pravdou, ale predpokladajme, že to tak je.

Ak pripustíme, že na niektorých stanicích došlo v dôsledku neznámej príčiny ku skokovému charakteru (kapitola 3.4.2) a uvážime, že jeho odstránenie má vplyv aj na výslednú vnútroplatňovú rýchlosť, môžeme dospieť k inej geokinematickej reprezentácii (sivé vektory na obr.7). Ako si môžeme všimnúť, vo viacerých prípadoch (PEMB, KUZA, LIE1) sa takto odhadnuté vektory výraznejšie hodia do filozofie stabilnej časti Európy prezentovanej v (Droščák, 2010c).



Obr. 7 Vektorové pole charakterizujúce geokinematiku Slovenska.

5 ZÁVER

Prezentované výsledky a skúseností opäť poukázali, aké komplikované je analyzovať a interpretovať časové rady permanentných staníc napriek ich zdanlivo dostatočnej dĺžke. V časových radoch staníc SKPOS[®], aj napriek snahám o zabezpečenie ich čo najkvalitnejšieho chodu, dochádza niekedy k neznámym situáciám, ktoré sa prejavujú v skokovom, alebo anomálnom správaní, čo síce komplikuje ich použitie napr. na geokinematické interpretácie, ale v žiadnom prípade neznehodnocuje ani neznižuje primárny účel služby, ktorým je poskytovanie spoľahlivého referenčného základu pre vybrané geodetické činnosti či práce v katastri nehnuteľností.

LITERATÚRA

- Boucher C., Altamimi Z., 2011: Memo: Specification for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. Version 8: 18.5.2011.
- Bruyninx C., Altamimi Z., Caporali A., Kenyeres A., Lidberg M., Stangl G., Torres J.A., 2013: Guidelines for EUREF Densification. Version 5: 28.5.2013. Dostupné na ftp://epncb.oma.be/pub/general/Guidelines_for_EUREF_Densifications.pdf
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M., 2007: *Bernese GPS Software Version 5.0*. Astronomical institute, University of Bern.
- Dach R. and the Bernese GNSS software development team, 2013: *Bernese GNSS Software: New features in version 5.2*. Astronomical institute, University of Bern, Switzerland. Dostupné na http://www.bernese.unibe.ch/docs/BSW52_newFeatures.pdf
- Droščák B., 2008: Stanice SKPOS z pohľadu časových radov. In: zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie „70 rokov SvF STU“, sekcia 4: Geodézia a kartografia, STU, Bratislava 4.-5. december 2008.

- Droščák B., 2010a: SKPOS permanent station stability monitoring. In: Proceedings of the „*International Symposium on Global Navigation satellite Systems, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications*“. Brussels, Belgium, 29.–30. November 2010.
- Droščák B., 2010b: Skúsenosti z monitorovania stability staníc SKPOS. In. CD zborník z odborného semináru s medzinárodnou účasťou na tému „*Družicové technológie a súčasná geodézia*“, KGZ SvF STU, Bratislava, 8. December, 2010.
- Droščák B., 2010c: Homogenizácia výsledkov dlhodobého monitorovania polohy pomocou GNSS a ich geodynamická interpretácia. Dizertačná práca SvF-3207-17650. KGZ SvF STU, Bratislava.
- Droščák B., Smolík K., 2013: Skúsenosti z analýzy inicializačných časov používateľov SKPOS aplikáciou ASMARUP. *Geodetický a kartografický obzor*, 10/2013. (v tlači)
- Ferianc D., Droščák B., Beňová E., 2010: Aktívne geodetické základy SR. In: zborník referátov z konferencie s medzinárodnou účasťou „*Družicové metódy v geodézii a katastru*“, VUT, Brno, 4. Február, 2010.